

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-003446  
(43)Date of publication of application : 07.01.2000

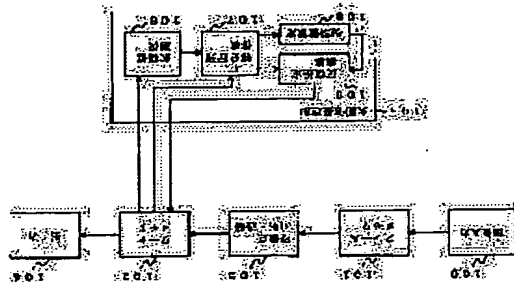
|                                    |                                 |
|------------------------------------|---------------------------------|
| (51)Int.Cl.                        | G06T 7/00<br>G06T 1/00          |
| (21)Application number : 10-167351 | (71)Applicant : RICOH CO LTD    |
| (22)Date of filing : 15.06.1998    | (72)Inventor : NISHIDA HIROFUMI |

## (54) MISSING VALUE ESTIMATING METHOD, THREE -DIMENSIONAL DATA INPUT DEVICE AND RECORDING MEDIUM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To highly accurately estimate the coordinate value of a feature point missed by shielding.

SOLUTION: A feature point extraction/tracing part 102 generates and stores a matrix W arraying the coordinates of respective featured points on each image frame in a work memory 103. In a missing value estimation part 105, a missing value selection part 106 selects one missing value in the matrix W, a partial matrix preparing part 107 prepares a partial matrix out of the matrix in order to estimate the missing value and an initial value setting part 108 sets up the initial value of the missing value. A repeated estimation operation part 109 repeats estimation operation for applying a factor decomposition method to the partial matrix by using the initial value as a missing value, applying the factor decomposition method again by using the obtained estimation value as a missing value to correct the estimation value and interpolates the missing value of the matrix W by using a final estimation value. Thus all missing values of the matrix W are successively interpolated one by one.



Thus all missing values of the matrix W are successively interpolated one by one.

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許公開番号

特開 2000-3446

(P2000-3446A)

(43)公開日 平成12年1月7日(2000.1.7)

|             |                        |      |  |           |       |
|-------------|------------------------|------|--|-----------|-------|
| (51)Int.Cl. | G06T 7/00<br>G06T 1/00 | 国際記号 | F I<br>G 0 6 F<br>15/62<br>4 1 5<br>15/66<br>M | キーワード(参考) | 58057 |
|-------------|------------------------|------|--|-----------|-------|

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全14頁)

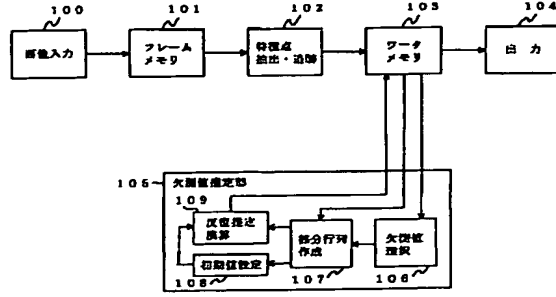
|          |                       |         |  |
|----------|-----------------------|---------|--|
| (21)出願番号 | 特願平10-167351          | (71)出願人 | 000005747<br>株式会社リコー<br>東京都大田区中馬込1丁目3番6号                               |
| (22)出願日  | 平成10年6月15日(1998.6.15) | (72)発明者 | 西田 広文<br>東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内                                     |
|          |                       | (74)代理人 | 100073760<br>弁理士 鈴木 誠 (外1名)<br>Fターム(参考) 58057 A005 A406 B402 B411 C413 |

(54)【発明の名称】 欠測値推定方法、三次元データ入力装置、及び、記録媒体

(57)【要約】

【課題】 遮蔽により欠落した特徴点の座標値を高精度に推定する。

【解決手段】 特徴点抽出・追跡部102によって、各特徴点の各画像フレーム上での座標を並べた行列Wがワークメモリ103上に生成される。欠測値推定部105において、欠測値選択部106で行列Wの1つの欠測値を選択し、その欠測値を推定するための行列Wの部分行列を部分行列作成部107で作成し、初期値推定部108で欠測値の初期値を設定する。反復推定演算部109は初期値を欠測値として用い部分行列に因子分解法を用い、得られた推定値を欠測値として用いて因子分解法を再度適用し推定値を修正する推定演算を反復し、最終的な推定値を用いて行列Wの欠測値を補完する。行列Wの全ての欠測値が1つずつ順次補完される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列中の欠測値を推定する方法であって、

該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第1のステップと、該第1のステップで選択された欠測値を推定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する第2のステップと、該第2のステップで作成された部分行列に対し、その欠測値を用い因子分解法を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値として欠測値を修正して行うことにより、欠測値に対する最終的な推定値を得る第3のステップと、該第3のステップで推定された最終的な推定値を用いて該メモリ上の行列の全ての欠測値が推定値を用いて補完されるまで繰り返すことを特徴とする欠測値推定方法。

【請求項2】 該第3ステップにおいて、該第2ステップで作成された部分行列の、欠測値を含む行又は列を除いた部分行列に因子分解法を適用することにより該初期値を求めることを特徴とする請求項1記載の欠測値推定方法。

【請求項3】 一連の時系列画像を入力する第1手段と、該第1手段により入力された一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行って、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列を生成する第2手段と、該第2手段により生成された行列を記憶する第3手段と、該第3手段に記憶されている行列から、その欠測値を推定するための部分行列を作成し、該部分行列に対して、その欠測値を用い初期値を用い因子分解法を適用して欠測値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値として欠測値を修正して欠測値を修正する第4手段と、該第4手段によって全ての欠測値が補完された後の行列を該第3手段より外部へ出力する第5手段とを具備する三次元データ入力装置。

【請求項4】 該第4手段は、該第3手段に記憶されている行列から推定対象の欠測値を選択する第6手段と、該第6手段により選択された欠測値を推定するための該行列の部分行列を作成する第7手段と、該第7手段により作成された部分行列の欠測値を含む行又は列を除いた部分行列に因子分解法を適用することにより欠測値に対する初期値を求める第8手段と、該第7手段により作成された部分行列に対し、その欠測値を用いて該初期値を用い因子分解法を適用して欠測値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値として欠測値を修正して欠測値を修正する第9手段とを具備する三次元データ入力装置。

【請求項5】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列中の欠測値を推定する方法であって、

該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第1のステップと、該第1のステップで選択された欠測値を推定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する第2のステップと、該第2のステップで作成された部分行列に対し、その欠測値を用い因子分解法を用いて欠測値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値として欠測値を修正して欠測値を修正する第3のステップと、該第3のステップで推定された最終的な推定値を用いて該メモリ上の行列の全ての欠測値が推定値を用いて補完されるまで繰り返すことを特徴とする欠測値推定方法。

的に得られた推定値を用いて該第3手段に記憶されている行列の欠測値を補完する第9手段とからなることを特徴とする請求項3記載の三次元データ入力装置。

【請求項5】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことにより、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列をメモリ上に生成する第1のステップと、該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第2のステップと、該第2のステップで選択された欠測値を推定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する第3のステップと、該第3のステップで作成された部分行列に対し、その欠測値を用い初期値を用い因子分解法を適用して欠測値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値として欠測値を修正して欠測値を修正する第4のステップと、該第4のステップによって全ての欠測値が補完された後の行列を該第3手段より外部へ出力するためのプログラムを記憶することを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項6】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことにより、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列をメモリ上に生成する第1のステップと、該メモリ上の行列から欠測値を1つ選択する第2のステップと、該第2のステップで選択された欠測値を推定するための、該メモリ上の行列の部分行列を作成する第3のステップと、該第3のステップで作成された部分行列に対し、その欠測値を用い初期値を用い因子分解法を適用して欠測値の推定値を求め、求めた推定値を欠測値として欠測値を修正して欠測値を修正する第4のステップと、該第4のステップによって全ての欠測値が補完された後の行列を該第3手段より外部へ出力するためのプログラムを記憶することを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】 発明の属する技術分野 本発明は、デジタルビデオカメラなどによって撮影された一連の時系列画像から、対象物体の三次元形状やカメラの運動を復元する技術分野に関する。

【0002】 従来の技術 デジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラのようなデジタルメディアによって取り込んだ動画画像からの対象物体の三次元形状の推定が、コンピュータビジョンの研究分野において重要な課題となっており、最終的に得られた推定値を修正する第5手段とを具備する三次元データ入力装置。

【請求項7】 一連の時系列画像に対し複数の特徴点の追跡を行うことによりメモリ上に生成された、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列中の欠測値を推定する方法であって、

り、その応用分野、例えばロボットビジョン、自動走行車、ビデオカメラを使った三次元形状入力、画像符号化、三次元モデリングなどでも大きな関心を持たれている。

【0003】 時系列の三次元動画画像からの三次元情報の抽出問題において、いわゆる「運動からの構造推定 (Structure From Motion)」という方法では、運動 (Motion) 距離 (Depth) 形状 (Shape) という手順にしたがって、まずカメラの運動を求め、次に物体上の特徴点のカメラ中心からの距離を求めることにより、形状を推定するのが普通である。しかし、時系列動画画像では、各フレーム間で対応点の動きが小さいので、運動を平行運動か回転運動かによって特定するのは不可能に近い。結局、求められた奥行き (Depth) の解が不可能になり、形状情報の復元が上手くいかない。逆に時系列のサンプル間の対応点の動きが大きい場合には、特徴点の対応付けの信頼性が低下してしまう。

【0004】 実行を計算せずに動きと形状を同時に計算することによって解を安定させる方法として、Tomasi と Kanade により提案された「因子分解法 (factorization)」がある (C. Tomasi and T. Kanade, "Shape and motion from image stream under orthography: A factorization method," International Journal of Computer Vision, vol. 9, 1992, pp. 137-154)。この方法は、正射影モデルに基づいて線形形式化を行い、数値計算的に安定な行列の特異値分解を用いるため、他の手法に比べて、解が極めて安定であることが特徴である。

【0005】 さらに、定式化の線形性を保ちながら奥行き (paraperspective) モデルを利用する因子分解法が, Poonan and Kanade により提案された (C. J. Poonan and T. Kanade, "A paraperspective factorization method for \* 3D scene reconstruction from a sequence of images," in Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994, pp. 100-107)。

【0006】 本発明は、上述の因子分解法を改良し、奥行き (depth) の推定精度を向上させることを目的とする。

【0007】 本発明の要旨は、上述の因子分解法を改良し、奥行き (depth) の推定精度を向上させることにある。

【0008】 本発明の要旨は、上述の因子分解法を改良し、奥行き (depth) の推定精度を向上させることにある。

【0009】 本発明の要旨は、上述の因子分解法を改良し、奥行き (depth) の推定精度を向上させることにある。

【0010】 本発明の要旨は、上述の因子分解法を改良し、奥行き (depth) の推定精度を向上させることにある。

【0011】 本発明の要旨は、上述の因子分解法を改良し、奥行き (depth) の推定精度を向上させることにある。

【0012】 本発明の要旨は、上述の因子分解法を改良し、奥行き (depth) の推定精度を向上させることにある。

【0013】 本発明の要旨は、上述の因子分解法を改良し、奥行き (depth) の推定精度を向上させることにある。

【0006】 ここで、この類似中心射影モデルと、それを利用する因子分解法について説明する。

【0007】 まず類似中心射影モデルについて述べる。図1は類似中心射影モデルの説明図である。図1において、1はカメラ中心、2はカメラ中心1から焦点距離だけ離れた画像面である。Cは、カメラにより撮影された物体の特徴点 (その一部が黒マークで表された点) の位置の重心 (物体の重心) である。3は重心Cを通り画像面2に平行な仮想画像面である。ワールド座標系の原点を重心Cに採り、特徴点pのワールド座標系での三次元座標を  $s_p \in R^3$  とする。

【0008】 時系列画像中のある画像フレームfに関する、カメラ中心1の座標を  $m_f$ 、画像面2の二次元ローカル座標系  $\Sigma_f = (O_f; i_f, j_f)$  を定義する。ここで、 $i_f, j_f \in R^2$ 、 $\|i_f\| = \|j_f\| = 1$ 、 $i_f \times j_f = 0$ 、カメラの光軸方向を  $k_f = i_f \times j_f \in R^3$  とする。画像フレームfにおいて、画像面2と、ベクトル  $k_f$  の交点  $O_f$  を原点に採り、単位直交ベクトルの組  $(i_f, j_f)$  により、二次元ローカル座標系  $\Sigma_f = (O_f; i_f, j_f)$  を定義する。

【0009】 類似中心射影では、特徴点pの画像面2への投影は二次元ステップで行われる。第1のステップで、特徴点pを仮想平面3に投影するが、この投影はカメラ中心1から重心Cに向かう直線と平行に行う。そして第2のステップで、仮想平面3に投影された点を画像面2に中心射影する。特徴点pの画像面2への投影点の座標  $\Sigma_f = (O_f; i_f, j_f)$  での座標を  $(u_f, v_f)$  とする。ただし、カメラの焦点距離は1とする。このとき、 $(u_f, v_f)$  は次のように表される。

$$\begin{aligned} u_f &= m_f \cdot i_f + s_f \\ v_f &= m_f \cdot j_f + s_f \end{aligned} \quad (1)$$

【数1】

$$u_f = m_f \cdot i_f + s_f$$

※【数2】

$$v_f = m_f \cdot j_f + s_f$$

$$u_f = \frac{(-t_p) \cdot i_f}{x_f} + \frac{(-t_p) \cdot j_f}{y_f}$$

$$m_f = \frac{1 - x_f k_f}{x_f}, n_f = \frac{1 - y_f k_f}{y_f} \quad (2)$$

【数3】

$$m_f = \frac{1 - x_f k_f}{x_f}, n_f = \frac{1 - y_f k_f}{y_f}$$

$$u_f = \frac{(-t_p) \cdot i_f}{x_f} + \frac{(-t_p) \cdot j_f}{y_f}$$

$$m_f = \frac{1 - x_f k_f}{x_f}, n_f = \frac{1 - y_f k_f}{y_f}$$

$$u_f = \frac{(-t_p) \cdot i_f}{x_f} + \frac{(-t_p) \cdot j_f}{y_f}$$

$$m_f = \frac{1 - x_f k_f}{x_f}, n_f = \frac{1 - y_f k_f}{y_f}$$

$$u_f = \frac{(-t_p) \cdot i_f}{x_f} + \frac{(-t_p) \cdot j_f}{y_f}$$

$$m_f = \frac{1 - x_f k_f}{x_f}, n_f = \frac{1 - y_f k_f}{y_f}$$

【0014】 次に、因子分解法について説明する。因子分解法においては、F枚の画像フレームにわたってP個の特徴点を追跡し、その結果として、投影点の画像面2上の二次元座標  $(u_f, v_f)$ 、 $f=1, 2, \dots, F$ 、 $p=1, 2, \dots, P$  を並べた  $2F \times P$  の行列Wを定義する。

【0015】 次に、因子分解法について説明する。因子分解法においては、F枚の画像フレームにわたってP個の特徴点を追跡し、その結果として、投影点の画像面2上の二次元座標  $(u_f, v_f)$ 、 $f=1, 2, \dots, F$ 、 $p=1, 2, \dots, P$  を並べた  $2F \times P$  の行列Wを定義する。

(4)

\* \* 【数3】

$$W = \begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{1P} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{P1} & \dots & u_{PP} \\ v_{11} & \dots & v_{1P} \\ \vdots & & \vdots \\ v_{P1} & \dots & v_{PP} \end{bmatrix} \quad (3)$$

【0016】この行列Wの上半分は特徴点のx座標値u、下半分は特徴点のy座標値v、をそれぞれ表す。行10の平均値xとy座標値の平均値y、列Wの各列は一つの特徴点に対する追跡結果、各行は単一フレーム内の全特徴点のx座標値又はy座標値に対応する。

$$\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P u_{1p} = x_f, \quad \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P v_{1p} = y_f \quad (4)$$

【0019】を求め、行列Wの各要素からx<sub>f</sub>、y<sub>f</sub>を差し引いた行列W\*を作る。

$$W^* = W - \begin{bmatrix} x_f & \dots & x_f \\ y_f & \dots & y_f \\ \vdots & & \vdots \end{bmatrix} \quad (5)$$

【0021】ここで、W\*を「計測行列」と定義する。

【0022】計測行列W\*は、フレーム数Fと特徴点数Pをいくら増やしても階数が高々3であるので、次のように分解できる。

$$W^*_{(F \times P)} = R_{(F \times 3)} S_{(3 \times P)} \quad (6)$$

【0024】これを前記(1)式と照らし合わせると、RとSはそれぞれカメラの姿勢ベクトル{(m<sub>i</sub>, n<sub>i</sub>): i=1,2,...,F}と特徴点の位置ベクトル{(s<sub>i</sub>: p=1,2,...,P)を並べた行列であることがわかる。

【0025】一般的には、計測行列にノイズが含まれるため、行列の階数が3であるとは限らないが、その場合でも、特異値分解を用いて大きな3つの特異値だけを保留して分解すると、二乗誤差の最小化の意味で最適分解が得られる。擬似中心対称モデルの場合も同様、計測行列をカメラ姿勢行列と特徴点形状行列とに分解し、

$$W^* = U \Sigma V^T \quad (7)$$

【0029】ただし、Uは2F×Pの直交行列、Σは計測行列の特異値(σ<sub>1</sub>, σ<sub>2</sub>, ..., σ<sub>r</sub>)からなるP×Pの対角行列、VはP×Pの直交行列である。もし、計測行列の階数が3であれば、σ<sub>r</sub>以降の特異値は0である

$$W^* = U \Sigma V^T \quad (8)$$

【0031】である。ここで、  
【0032】

50

(5)

7

$$\hat{U}, \hat{\Sigma}, \hat{V} \quad * \times P \text{である。そこで、} \quad (9)$$

【0033】のサイズはそれぞれ2F×3、3×3、3\*【数9】

$$\hat{U} = \hat{R}, \quad \hat{\Sigma} \hat{V} = \hat{S} \quad (10)$$

【0035】とおけば、一つの分解結果  
【0036】 ※

$$W^* = \hat{R} \hat{S} \quad (11)$$

【0037】が得られる。しかし、(10)式の分解は10\*【数11】一意ではない。実際、任意の正則行列Qにより、

$$W^* = \hat{R} \hat{S} = \hat{R} Q Q^{-1} \hat{S} = (\hat{R} Q) (Q^{-1} \hat{S}) = \tilde{R} \tilde{S} = \tilde{W}^* \quad (12)$$

【0039】のように無数の解が存在する。

【0040】そこで、次のような拘束条件を導入する。

$$\frac{\|m_f^T\|^2}{f_x^2 + x_f^2} = \frac{\|n_f^T\|^2}{f_y^2 + y_f^2} \left( \frac{-1}{x_f^2} \right) \quad f=1,2,\dots,P \quad (13)$$

【0042】 ◆ 【数13】

$$m_f^T n_f = \frac{x_f y_f}{2} \left\{ \frac{\|m_f^T\|^2}{f_x^2 + x_f^2} + \frac{\|n_f^T\|^2}{f_y^2 + y_f^2} \right\} \quad f=1,2,\dots,P \quad (14)$$

【0043】 \* \* 【数14】

$$\|m_f^T\| = 1 \quad (15)$$

【0044】この拘束条件を満たすQを求め、このQに基づいて

【0045】

【外2】

$$R = \hat{R} Q, \quad S = Q^{-1} \hat{S}$$

【0046】とし、

【0047】

【外3】

$$\tilde{W} = R S$$

【0048】と一般に分解する。Rは2F×3の行列でカメラの姿勢を示す。Sは3×Pの行列で各特徴点の三次元座標値を示す。詳細は前述のPoolmanとKanadeの文獻に趣く、行列Rすなわち{(m<sub>i</sub>, n<sub>i</sub>): i=1,2,...,F}と、(4)式で計算される(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>)とから、カメラの方向{(i, j, k<sub>i</sub>): i=1,2,...,F}を求めることができ、ついで(12)式からZ<sub>i</sub>を、

(2)式からカメラの位置x<sub>i</sub>を計算できる。  
【0049】

【發明が解決しようとする課題】正射影モデル、擬似中心対称モデルのいずれかを利用するにしても、因子分解法においては、選ばれたすべての特徴点が、画面像のすべての画像フレームにわたって追跡できることを前提としている。すなわち、最初の画像フレームで見えている特徴点が途中で隠れて見えなくなったり、途中の画像フレームで新しい特徴点が導入されたりしないことを仮定している。しかしながら、カメラが物体の周りを一周するような状況では、最初の画像フレームで見えている特徴点の一部は途中で物体に遮蔽されてしまうので、そのような仮定は、長時間にわたって撮影された動画像には適用できない。

【0050】この問題への対処として、前述のTomasiとKanadeは、特定の画像フレーム上で隠れて見えないような特徴点について、その画面像での投影位置、すなわち、物体が透明な場合に、その特徴点が画面像上で隠れるべき位置を推定する方法を提案している。この方法では、より詳しく後述するように、推定対象の近傍の画像フレームの部分集合と特徴点の部分集合に因子分解法を適用し、それにより得られた画面フレームと特徴点の位置情報の部分推定を使って、隠れて見えない特徴点の画面像での投影位置を最小二乗近似によって求める。しかし、この方法で得られる推定値は、本来の投影条件である中心対称によるものではなく、因子分解法で仮定する投影モデル(正射影や擬似中心対称)により投影されたものになってしまう。そのため、推定値が真像のカメラモデルである中心対称による投影位置から大きくずれて誤差が大きくなることがある。

【0051】なお、因子分解法に限らず、動画像から物体の三次元形状やカメラの運動を推定する方法では、一

50



$$\tilde{W} = \begin{bmatrix} u_{00} & u_{01} & \dots & u_{0n} \\ u_{10} & u_{11} & \dots & u_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{m0} & u_{m1} & \dots & u_{mn} \\ x_{00} & v_{01} & \dots & v_{0n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{j0} & v_{j1} & \dots & v_{jn} \\ v_{m0} & v_{m1} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

【0070】 $(u_{00}, v_{00})$  が推定対象の要素 (欠測

値) である。つまり、欠測値を

$$((u_{ij}, v_{ij}) : i=0,1,\dots,m; j=0,1,\dots,n; \quad (16)$$

$$(i,j) \neq (0,0), (u_{ij}, v_{ij}) \text{ は既知}$$

【0072】から推定することを考えるわけである。

【0073】推定のための部分行列を作成すると、初期値設定部108によって、 $(u_{00}, v_{00})$  の初期値  $(u^{(0)}, v^{(0)})$  を決定する (ステップ301)。この設定方法については後述する。以下、反復推定演算部109において、この初期値から出発し反復推定演算処理により最終的な推定値を求める。

【0074】まず、 $k$  を0に設定する (ステップ302)。次に、部分行列の  $(u_{00}, v_{00})$  を  $(u^{(k)}, v^{(k)})$  (反復演算処理の1回目では、ステップ301で設定された初期値) で置き換え、この部分行列を前記 (3) 式の行列  $W$  として使い因子分解法を適用することにより、特徴点の位置  $s_0$ 、フレーム0でのカメラの方向  $(i_0, j_0, k_0)$  と位置  $t_0$ 、カメラ中心1から反復画像平面3までの距離  $z_0$  を求める (図1参照)。

【0075】後述のように、 $(u^{(k)}, v^{(k)})$  の推定値  $\hat{u}^{(k)}, \hat{v}^{(k)}$  は  $(u^{(k+1)}, v^{(k+1)}) = (m_0 \cdot s_0 + x_0 + \Delta u, n_0 \cdot s_0 + y_0 + \Delta v)$  (17)

$$(u^{(k+1)}, v^{(k+1)}) = (m_0 \cdot s_0 + x_0 + \Delta u, n_0 \cdot s_0 + y_0 + \Delta v) \quad (17)$$

【0079】ここで、 $m_0, n_0, x_0, y_0$  は、前に求められた  $(i_0, j_0, k_0), t_0, z_0, s_0$  を用いて前記 (2) 式により計算される。

【0080】次に、推定値  $(u^{(k+1)}, v^{(k+1)})$  の収束★

$$\| (u^{(k+1)}, v^{(k+1)}) - (u^{(k)}, v^{(k)}) \| < \epsilon \quad (18)$$

【0082】が成立するか調べる。ここで  $\epsilon$  は予め設定された収束判定パラメータである。

【0083】収束条件が成立しないときには、部分行列  $W$  の  $(u_{00}, v_{00})$  を、直前の推定値  $(u^{(k+1)}, v^{(k+1)})$  で置き換えてステップ303以下を繰り返す。その際、ステップ307は  $k$  を1だけインクリメントする。

【0084】ステップ306において、(18) 式の収束条件が成立した場合、あるいは、反復回数  $k$  が最大反復回数  $K$  に達した場合には、その段階の推定値  $(u^{(k+1)}, v^{(k+1)})$  を  $(u_{00}, v_{00})$  の推定値として確定する (ステップ308)。

【0087】まず、行拡張と呼ばれる方法について説明する。(15) 式の欠測値推定のための部分行列メモリ103上の行列  $W$  の対応要素が置き換えられる

50 【0088】

$$\tilde{W}_{2(n+1) \times (n+1)} \quad (19)$$

【0089】から、推定対象の  $u_{00}, v_{00}$  を含む行を除いた部分行列

【0090】

【0091】を作り、この部分行列を次のように分解する。

【0092】

【0093】ここで、 $M_{2(n+1) \times 3}$  は  $2(n+1)$  個の特徴点

カメラの姿勢を示す行列、 $S_{2(n+1) \times 1}$  は  $2(n+1)$  個の特徴点

の三次元座標を表す行列である。第0フレームにおける★

【0094】

【0095】ただし、

【0096】

【0097】である。そして、(20) 式を最小二乗法

によって解き、求めた  $(u_{00}, v_{00})$  を初期値

未知数  $(u_{00}, v_{00})$ 、 $(m_0, n_0)$  があるもので、これ

らの未知数を解くためには  $2(n+1) \geq 8$ 、すなわち、 $n$

$\geq 3$  でなければならない。したがって、既知特徴点は最

低3個必要である。しかし、ノイズなどの影響を考慮

し、既知特徴点の数を4以上に選ぶのが適当である。

【0098】次に、列拡張と呼ばれる方法について説明

する。(15) 式の欠測値推定のための部分行列

【0099】

【0100】から、推定対象の  $u_{00}, v_{00}$  を含む行を除

いた部分行列

【0101】

【0102】を作り、この部分行列を次のように分解す

る。

【0103】

【0104】ここで、 $M_{2(n+1) \times 3}$  は  $2(n+1)$  枚のフレーム

★ におけるカメラの姿勢を示す行列、 $S'_{2(n+1) \times 1}$  は  $n$  個の特徴

点の三次元座標を表す行列である。(n+1) 枚のフレーム★

【0105】

【0106】ただし、

【0107】

★

【0108】である。そして、(23) 式を最小二乗法

によって解き、求めた  $(u_{00}, v_{00})$  を初期値

未知数  $(u_{00}, v_{00})$  とする。なお、(23) 式には5つの

未知数  $(u_{00}, v_{00}), s_0$  があるので、これらの未知

50 si と Kanade の推定方法である。この方法により求められ

る初期値は、実際のカメラモデルである中心射影による投影によるものではなく、因子分解法で仮定する投影モデル（ここでは擬似中心射影）により投影された位置であり、中心射影による投影位置からの誤差が大きくなる場合がある。

【0110】本発明では、このような初期値から出発して、推定誤差を定量的に評価しつつ推定値を修正する処理を反復する方法によって、特定の画像フレームにおいて遮蔽された特徴点の画像面での投影位置を、実際のカメラ

$$\begin{aligned} (\Delta u, \Delta v) = & \frac{1}{z_0} \sum_{i=1}^{\infty} \left[ -\frac{(k_f \cdot s_p)}{z_f} \right] (i_0 \cdot (s_0 - t_0), j_0 \cdot (s_0 - t_0)) \\ & + \frac{(k_0 \cdot s_p)}{z_0} (i_0 \cdot t_0, j_0 \cdot t_0) \end{aligned} \quad (25)$$

【0113】この(25)式によって推定誤差を評価することができる。

【0114】ここで、上記(25)式は、次のように書

$$(\Delta u, \Delta v) = \frac{1}{z_0} \sum_{i=1}^{\infty} \left[ -\frac{D}{z_0} \right] (u_i, v_i) + \frac{D}{z_0} (u_c, v_c) \quad (26)$$

い直すことができる。フレームΔ0での二次元ローカル座標

(26)

【0116】となる。ただし、Dは推定される点 $s_0 \in R^3$ から仮想画像面3までのワールド座標系での符号付き距離であり、特徴点 $s_0$ が仮想画像面3に対して、カメラ中心1と同じ側にあるときに負、反対側にあるときに正の符号をとる（図1参照）。(u, v)は、 $\Sigma_0$ ＝射影した投影点の座標を( $U_{r0}$ ,  $V_{r0}$ )とすると（図1参照）

$$U_{r0} = \frac{j_f \cdot (s_0 - t_f)}{z_f}, \quad V_{r0} = \frac{i_f \cdot (s_0 - t_f)}{z_f} \quad (27)$$

$$s_{r0} = k_f \cdot (s_0 - t_f) \quad (28)$$

$$z_f = -t_f \cdot k_f \quad (29)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (30)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (31)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (32)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (33)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (34)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (35)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (36)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (37)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (38)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (39)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (40)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (41)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (42)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (43)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (44)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (45)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (46)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (47)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (48)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (49)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (50)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (51)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (52)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (53)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (54)$$

$$z_0 = -t_0 = k_f \cdot s_0 \quad (55)$$

$$\begin{aligned} (U_{r0}, V_{r0}) = & \left[ \frac{1}{z_f} \frac{(k_f \cdot s_p)}{z_f} + \frac{(k_f \cdot s_p)^2}{z_f^2} + \frac{(k_f \cdot s_p)^3}{z_f^3} + \dots \right] \\ & \times (i_f \cdot (s_0 - t_f), j_f \cdot (s_0 - t_f)) \\ & - \frac{1}{z_f} \sum_{i=0}^{\infty} \left[ -\frac{(k_f \cdot s_p)}{z_f} \right] (i_f \cdot (s_0 - t_f), j_f \cdot (s_0 - t_f)) \end{aligned}$$

【0125】となる。したがって、

【0126】

$$\begin{aligned} U_{r0} = & \frac{1}{z_f} \left[ i_f \cdot s_0 + \frac{j_f \cdot t_f}{z_f} (k_f \cdot s_p - (i_f \cdot t_f)) \right] \\ & + \frac{j_f \cdot (s_0 - t_f)}{z_f} \sum_{i=1}^{\infty} \left[ -\frac{(k_f \cdot s_p)}{z_f} \right] \frac{j_f \cdot t_f}{z_f} (k_f \cdot s_p) \\ V_{r0} = & \frac{1}{z_f} \left[ j_f \cdot s_0 + \frac{i_f \cdot t_f}{z_f} (k_f \cdot s_p - (j_f \cdot t_f)) \right] \\ & + \frac{i_f \cdot (s_0 - t_f)}{z_f} \sum_{i=1}^{\infty} \left[ -\frac{(k_f \cdot s_p)}{z_f} \right] \frac{i_f \cdot t_f}{z_f} (k_f \cdot s_p) \end{aligned} \quad (31)$$

【0127】となる。(31)式の右辺1項は擬似中心射影の式と一致し、 $|s_p|/z_f$ と0としたとき、第2項以降が0に近似される。ワールド座標系の原点を30

物体の重心に採ったとき、 $z_{r0} = z_f = k_f \cdot s_0$ は、点pから仮想画像面3までの距離D、 $z_f$ はカメラ中心1から仮想画像面3までの距離、( $i_f \cdot (s_0 - t_f)$ ,  $j_f \cdot (s_0 - t_f)$ )は、フレームfの二次元ローカル座標系

$\Sigma_f = (0; i_f, j_f)$ での点 $s_0$ の正射影の座標、( $i_f \cdot (-t_f)$ ,  $j_f \cdot (-t_f)$ )は、 $\Sigma_f = (0; i_f, j_f)$ での点Cの正射影の座標である。

【0128】(25)式から、特に $|k_f \cdot s_0/z_0| > 1$ の場合には級数が発散するので、そのような場合には、ステップ304（図4）に関連して述べたように推定のための部分行列を構成し直す必要があるわけである。

【0129】図2乃至図4を参照して説明した処理は、専用のハードウェアによって実現することも可能であるが、例えば図6に略示するようなCPU400、メモリ401、ハードディスクなどの補助記憶装置402、フロッピーディスクなどの可搬記憶媒体404の組み付きのためのドライブ403、外部の入力機器とのインターフェイス405及び出力インターフェイス406など

とをシステムバス407によって接続したようなコンピュータとなる。

【0130】図2乃至図4を参照して説明した処理は、専用のハードウェアによって実現することも可能であるが、例えば図6に略示するようなCPU400、メモリ401、ハードディスクなどの補助記憶装置402、フロッピーディスクなどの可搬記憶媒体404の組み付きのためのドライブ403、外部の入力機器とのインターフェイス405及び出力インターフェイス406など

とをシステムバス407によって接続したようなコンピュータとなる。

【0131】図2乃至図4を参照して説明した処理は、専用のハードウェアによって実現することも可能であるが、例えば図6に略示するようなCPU400、メモリ401、ハードディスクなどの補助記憶装置402、フロッピーディスクなどの可搬記憶媒体404の組み付きのためのドライブ403、外部の入力機器とのインターフェイス405及び出力インターフェイス406など

とをシステムバス407によって接続したようなコンピュータとなる。

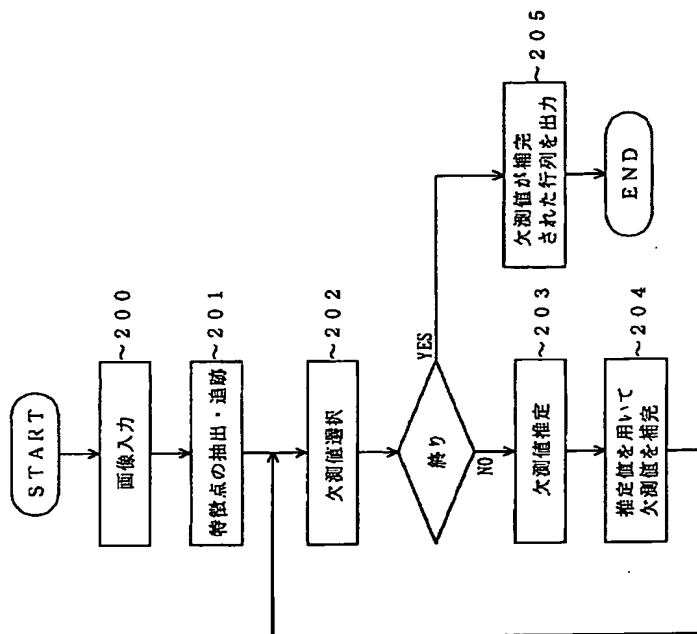
【0132】図2乃至図4を参照して説明した処理は、専用のハードウェアによって実現することも可能であるが、例えば図6に略示するようなCPU400、メモリ401、ハードディスクなどの補助記憶装置402、フロッピーディスクなどの可搬記憶媒体404の組み付きのためのドライブ403、外部の入力機器とのインターフェイス405及び出力インターフェイス406など

とをシステムバス407によって接続したようなコンピュータとなる。

ユータを用い、ソフトウェアによって実現することも可能である。この場合、図3及び図4に示す処理を実行させるためのプログラム410はメモリ401上に置かれ、CPU400によって実行される。このプログラム410は、例えば、それが記録されたフロッピーディスクなどの可搬記憶媒体404からドライブ403を介してメモリ401にロードされ、あるいは補助記憶装置402に一旦格納され処理実行時にメモリ401にロードされる。処理対象の時系列画像は、例えば、デジタルビデオカメラなどの画像入力機器から入力インターフェイス405を介してメモリ401に書き込まれ、又は補助記憶装置402に一旦格納され処理実行時にメモリ401に読み込まれる。特徴点抽出・追跡によって作成される行列はメモリ401上に置かれる。欠測値が補完された行列は、例えば、メモリ401から出力インターフェイス406を介して外部の機器もしくは処理システムへ出力される。

【0133】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、一連の時系列画像に対し特徴点の追跡を行った結果として得られる、各特徴点の各画像フレーム上での座標値を並べた行列における欠測値を高程度に

【図3】



推定することが可能である。特徴点の追跡が起きるような条件で撮影された時系列画像についても、高精度な推定値を用いて欠測値を補完した行列を入力することが可能であり、したがって、その行列を用いて因子分解法を適用することにより、対象物体の三次元形状とカメラ運動の高精度な復元が可能になる、等々の効果を得られる。

【符号の説明】

- 100 画像入力部
- 101 フレームメモリ
- 102 特徴点抽出・追跡部
- 103 ワークメモリ
- 104 出力部
- 105 欠測値推定部
- 106 欠測値選択部
- 107 部分行列作成部
- 108 初期値設定部
- 109 反復推定演算部

【図面の簡単な説明】

【図1】 擬似中心射影モデルの説明図である。

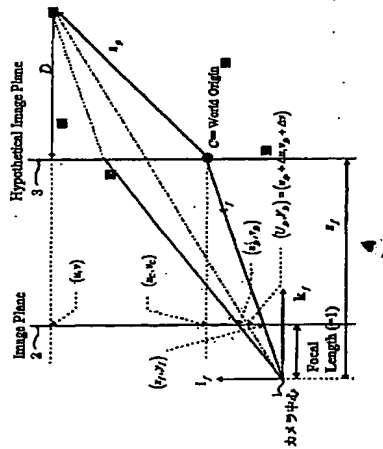
【図2】 本発明による三次元データ入力システムのブロック図である。

【図3】 三次元データ入力システムの全体的処理フローを示すフローチャートである。

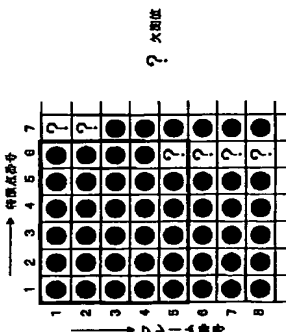
【図4】 欠測値推定処理のフローチャートである。

【図5】 欠測値の推定方法の説明のための図である。

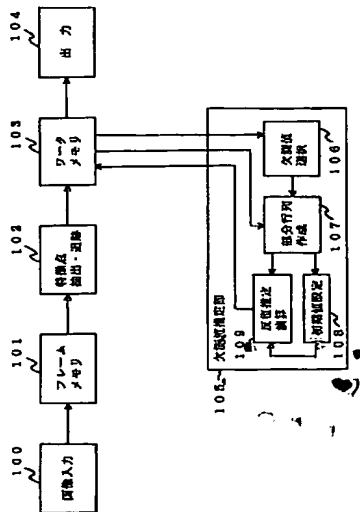
【図1】



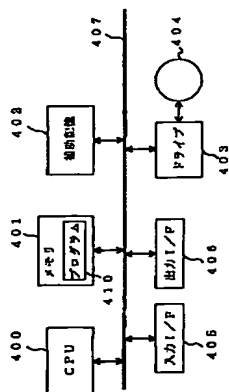
【図5】



【図2】



【図6】



【図4】

